



# Tecnología de visión artificial 3D

## Control de procesos y calidad en la industria alimentaria

*Moreda, G.P.; Hernández Sánchez, N; Lleó, L; Correa, E.C.*

Dres. Ingenieros Agrónomos. Profesores de la E.U.I.T. Agrícola y miembros del grupo de investigación LPF-TAG (Laboratorio de Propiedades Físicas y Tecnologías Avanzadas en Agroalimentación). Universidad Politécnica de Madrid.

La visión artificial es una herramienta potente para la inspección externa de productos alimentarios. Actualmente es rara la industria alimentaria que no emplea esta tecnología para el control de calidad de la producción. La mayoría de los sistemas de visión instalados actualmente son 2D, es decir, analizan imágenes planas tomadas "a vista de pájaro": estas imágenes permiten evaluar las características de tamaño, forma y color de los productos. Pero cada vez hay más aplicaciones en las que además de las características anteriores conviene disponer de un modelo 3D del objeto inspeccionado, lo cual se consigue con equipos de visión artificial 3D.

**A**ctualmente, la mayoría del control de calidad mediante visión artificial que se realiza en la industria alimentaria se basa en el análisis de imágenes 2D. Estas imágenes son capturadas por videocámaras, dispuestas verticalmente, que toman imágenes en planta del producto que pasa por debajo apoyado en una cinta transportadora. Este sistema da muy buenos resultados, ya que permite disponer de información sobre el tamaño, forma y color del producto. No obstante, hay aplicaciones en las que lo anterior resulta insuficiente, y empieza a crecer el interés por disponer de una imagen tridimensional de los productos. A partir de ese modelo tridimensional, se puede obtener información valiosa, como el volumen y la altura del objeto en cuestión (una galleta, un filete de pescado, un trozo de masa que va a entrar en el horno de cocción, etc.).

A partir de la información tridimensional, se pueden eliminar los objetos demasiado grandes, deformes, etc., que pueden dar lugar a atascos en las máquinas siguientes o a problemas en el envasado. El disponer del dato del volumen de los objetos sirve,

por ejemplo, para poder cortar un trozo de pescado en porciones del mismo peso, estimando una densidad constante. Además, si simultáneamente a la imagen 3D obtenemos una imagen en color, podremos detectar y eliminar las zonas de grasa de un filete de pollo.

Otra aplicación interesante de "la tercera dimensión" es la monitorización y control, en tiempo real y de forma no invasiva, del proceso de enfriamiento de un determinado producto alimentario en una cámara frigorífica o en un túnel de congelación. Disponiendo de una cámara térmica o de infrarrojo y de una cámara 3D, conseguiremos una imagen tridimensional del trozo de carne, de pescado o de la pieza de fruta que queremos enfriar, en la que simultáneamente estaremos viendo la distribución de la temperatura, es decir, cómo se va enfriando desde fuera hacia dentro.

### Ventajas de la visión artificial

Hoy en día, para cualquier industria alimentaria es de vital importancia que los productos defectuosos no lleguen a la distribución o al consumidor.



Las estadísticas (Scott, 1994) señalan que sólo uno de cada 26 consumidores reclama cuando recibe un producto defectuoso. Los otros 25 "se limitan" a cambiar de producto o de marca.

Para agravar las cosas, el consumidor decepcionado comenta su mala experiencia con la marca o industria proveedora con 12 consumidores potenciales como media. Por tanto, es crucial asegurar una inspección o control de calidad exhaustivo de los productos expedidos por una industria alimentaria.

La visión artificial permite evaluar, de forma objetiva y no destructiva, las características de calidad visual de los productos alimentarios mediante el procesamiento y análisis de las imágenes capturadas por una videocámara (Timmermans, 1998). La tecnología de visión artificial presenta las siguientes ventajas de cara a su utilización en la inspección de productos o en el control de calidad:

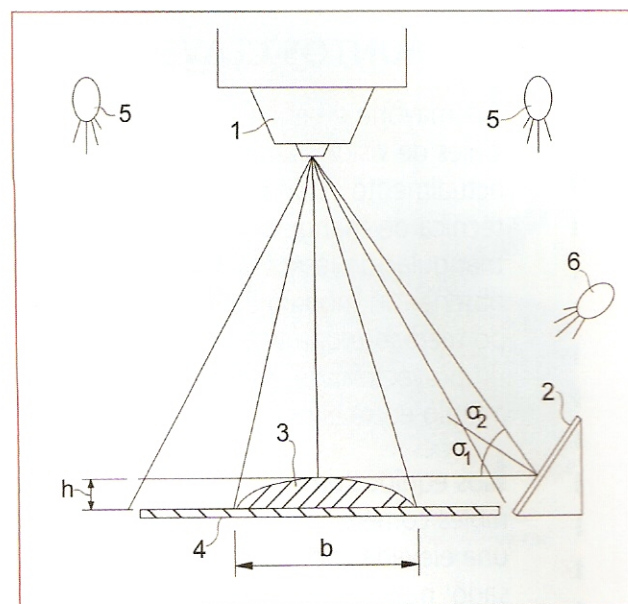
- Es una técnica no destructiva.
- No necesita contacto con el objeto.
- Es consistente, es decir, no se cansa, aburre ni distrae, lo cual constituye su principal ventaja sobre el inspector humano.
- Permite inspeccionar el producto en tiempo real.

Por ser una técnica no destructiva y permitir la inspección en tiempo real, la visión artificial permite controlar la calidad de la totalidad de la producción. Por tanto, admite el montaje en línea, intercalándose en ella como si de una operación más del proceso se tratara. Habitualmente, se sitúa antes del envasado, pues el objetivo principal es evitar que lleguen productos defectuosos al consumidor. Otras veces se emplea como punto de medición para realizar un control de proceso en lazo cerrado. Un ejemplo de esto último lo tenemos en el control de la temperatura y tiempo de cocción en panificación, en función de las características visuales del producto observadas a la salida del horno.

Debido a las ventajas mencionadas, hoy en día podemos encontrar sistemas de inspección mediante videocámaras en la mayoría de industrias, sustituyendo el tedioso trabajo que, de otra forma, tendrían que realizar inspectores humanos.

La visión artificial presenta bastantes similitudes con la visión humana. Por ejemplo, a muchos consumidores no les gustan las barras de pan demasiado cocidas, lo cual es percibido o juzgado por el color de la corteza.

Una videocámara puede detectar el color y, por tanto, eliminar una barra cuya corteza se haya torrefactado demasiado en el horno. Toda videocámara incluye uno o más sensores de imagen, habitualmente del tipo CCD o CMOS.



**Figura 1.** Sistema de visión 2D con espejo lateral para cálculo del volumen de objetos. [Fuente: Arnarson & Pau (1993)]

- 1: videocámara de líneas;
- 2: espejo;
- 3: objeto (trozo de pescado);
- 4: cinta transportadora;
- 5 y 6: lámparas para iluminación de la escena;
- b, h: anchura y grosor máximo de la sección transversal del trozo de pescado representada.

### Control de calidad y visión artificial

Actualmente, la mayoría del control de calidad mediante visión artificial que se realiza en las industrias alimentarias está basado en el análisis de imágenes planas, también llamadas imágenes 2D.

Estas imágenes son captadas por videocámaras dispuestas verticalmente, que toman imágenes en planta (cenitales o "a vista de pájaro") del producto que pasa por debajo de la videocámara colocado sobre una cinta transportadora (figura 1).

Este sistema da muy buenos resultados, ya que permite disponer de información de tamaño, forma y color del producto. Por ejemplo, si la forma de una pizza se aparta demasiado del círculo, esa pizza debe ser eliminada (Du & Sun, 2004).

No obstante, hay algunas aplicaciones en las que lo anterior resulta insuficiente, y se aprecia un interés creciente por disponer de una imagen tridimensional de los productos. Aparte de servir para la inspección o control de calidad propiamente dicho, tener una imagen tridimensional de los alimentos es muy útil de cara al trabajo eficiente de un eventual brazo robotizado que se dedique a empaquetado.



### PUNTOS CLAVE

La mayoría de equipos comerciales de visión 3D disponibles actualmente están basados en la técnica de triangulación activa o triangulación láser, consistente en obtener un modelo 3D de un cuerpo mediante una videocámara y un proyector láser que forman un ángulo entre ellos.

Los equipos de visión 3D disponibles comercialmente presentan una elevada capacidad de procesamiento: para una magdalena que tarde una décima de segundo en atravesar el campo de visión del equipo, éste es capaz de calcular la altura correspondiente a tres mil quinientos puntos de la superficie de la magdalena.

La precisión en la medición de la altura del producto depende de la anchura de la cinta transportadora y de la altura máxima del producto. Para inspección de pan, la precisión media es de 0,5 mm, y para galletas, de 0,05 mm.

Añadiendo información 3D a una imagen 2D térmica en operaciones de cocinado completo, se pueden distinguir los espacios entre trozos de carne de un trozo de carne subcocinado, algo que, con la imagen térmica 2D sola, no se puede hacer.

En el futuro, la integración de coordenadas 3D con datos espectrales puede tener numerosas aplicaciones. Algún autor se ha referido a esta "técnica de fusión" como *escáner 3D multiespectral*.

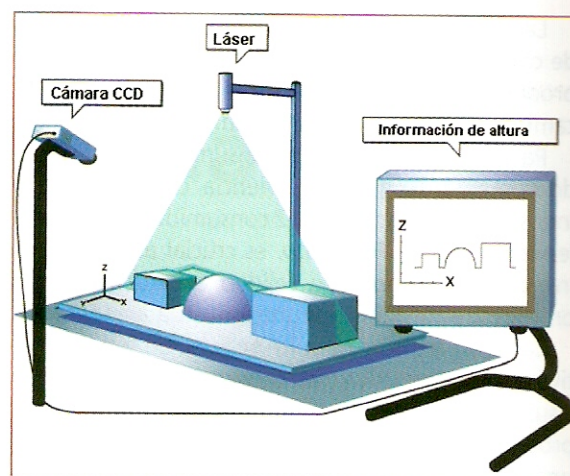


Figura 2. Fundamento de la triangulación activa (Fuente: Stocker Yale Inc.)

En este caso, se producirán menos fallos en el agarre del producto, comparado con si dicho brazo tiene que trabajar en base a una imagen plana del objeto.

Con los sistemas de visión 2D convencionales, es relativamente fácil medir parámetros como diámetro, longitud, perímetro, área proyectada, así como diversas medidas de forma. Pero calcular el volumen del objeto con un sistema de este tipo no resulta tan sencillo. Una excepción, en cuanto a sencillez del método, es utilizar una fórmula matemática en función de la forma típica del producto. Por ejemplo, podemos calcular el volumen de una salchicha utilizando la fórmula del volumen del cilindro, introduciendo en dicha fórmula el diámetro (anchura del rectángulo proyectado) y la longitud del rectángulo. Esto sólo sirve para productos con una forma sencilla.

Para objetos de formas complejas o variables, como un trozo de pescado, una alternativa es colocar un espejo lateral dentro del túnel de inspección de la videocámara, tal como se muestra en la figura 1. De esta forma, además de la planta del objeto, se dispone de un alzado lateral. El único inconveniente que tiene este sistema es que sólo sirve para objetos dispuestos en una fila única, ya que si tenemos una cinta transportadora con objetos aleatoriamente distribuidos en toda su anchura (figura 4), los objetos centrales no aparecerían reflejados en el espejo, o lo harían sólo parcialmente, por lo que no tendríamos información de su altura.

Para disponer de una imagen tridimensional de un objeto, existen diferentes técnicas, que se pueden clasificar en pasivas y activas. Las pasivas sólo



incluyen una iluminación general de la escena, mientras que las activas proyectan un determinado patrón luminoso sobre la superficie del producto, con objeto de que una videocámara pueda ver esa luz proyectada, y realizar cálculos en base a ello.

Las técnicas pasivas de visión 3D aún no se encuentran disponibles comercialmente, pero las activas, en concreto la denominada triangulación activa o triangulación láser, sí. En el siguiente apartado, resumimos brevemente en qué consiste esta última técnica.

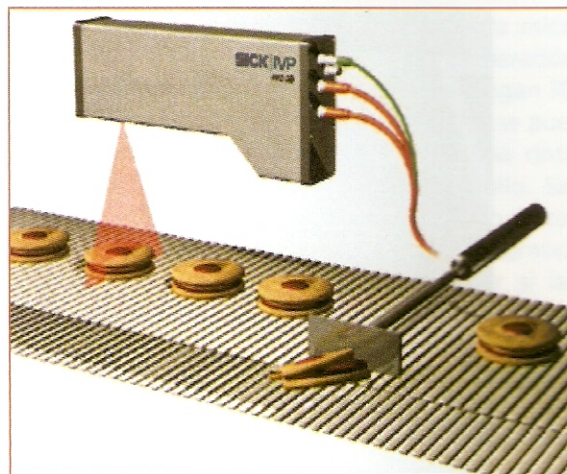
### Modelado 3D por triangulación activa

Actualmente, la mayoría de equipos comerciales para la inspección 3D de objetos se basan en la triangulación activa o triangulación láser. El fundamento de esta técnica se esquematiza en la figura 2. En dicha figura, podemos intuir cómo, en ausencia de objetos sobre el plano XY, la luz emitida por el proyector láser sería visualizada por la cámara como una línea recta.

Pero, cuando hay objetos colocados sobre dicho plano, éstos "desvían" la luz láser, convirtiéndola en una línea quebrada o tortuosa, de forma que la videocámara capta una imagen como la representada en el monitor de la figura 2. Los objetos, en este caso, son dos ortoedros y una semiesfera (que podría ser una tarta) en medio.

Supongamos que la superficie XY corresponde a una banda transportadora, de anchura según el eje X (es decir, de anchura igual al lado largo del rectángulo), y que avanza según la dirección del eje Y, concretamente hacia donde está la cámara.

Supongamos también que la cámara está colgada del techo, en vez de apoyada en el soporte tubular



**Figura 3 a).** Triangulación activa. Control de calidad en una fábrica de galletas, que permite detectar galletas rellenas con forma defectuosa

de color negro de la figura; de esta forma, la cinta no chocará con el tubo soporte. Con las premisas anteriores, lo que se halla representado en la figura es el instante en el que el plano o haz láser corta a los objetos colocados sobre la cinta justo en la mitad.

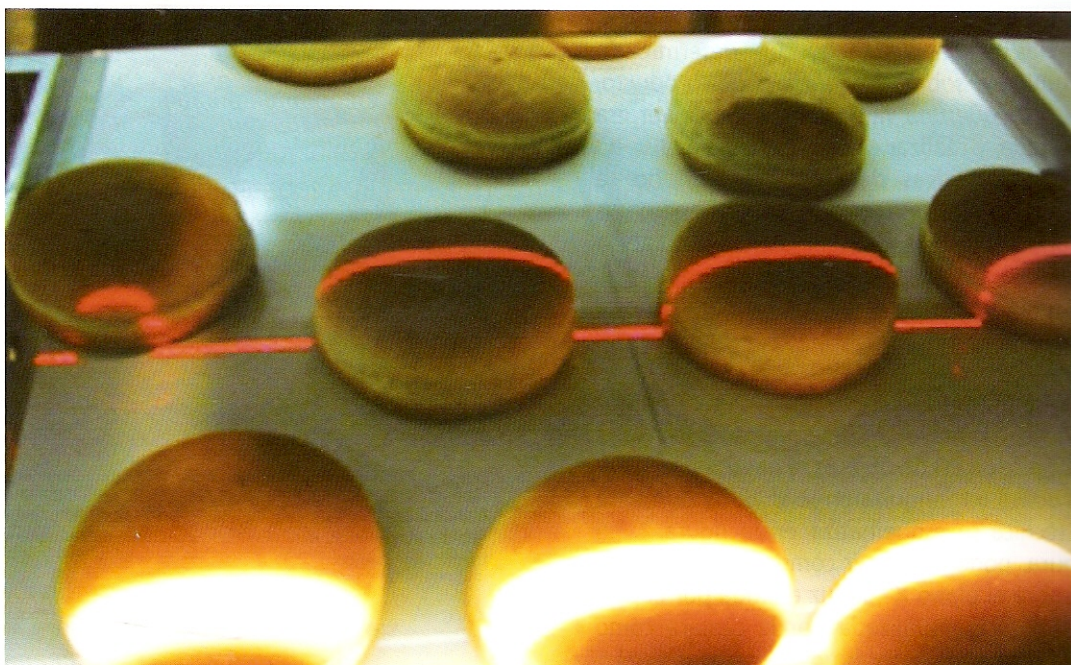
Si suponemos un instante inmediatamente posterior, la cinta habrá avanzado un poco y, entonces, la figura que aparecería en el monitor, que es lo que la cámara vería, sería la misma para el caso de los dos ortoedros mientras que, para la semiesfera, la altura Z sería un poco menor.

De esta manera, se puede obtener la imagen 3D de los objetos que viajan sobre la cinta transportadora.



**Figura 3 b).** Triangulación activa. Detalle del equipo compacto de visión 3D, donde se aprecia el objetivo de la cámara y el proyector de luz láser roja (Fuente: SICK IVP AB)





**Figura 4.** Inspección de forma 3D (luz láser roja) y color (luz blanca) de panecillos de hamburguesa (Fuente: Montrose Technologies Inc.)

En la figura 3, se puede apreciar un equipo compacto de triangulación láser trabajando en la detección de galletas rellenas con forma defectuosa. Con un sistema de visión 2D convencional sin espejo lateral sería imposible detectar la galleta deformada de la figura.

### Aplicaciones en la industria alimentaria

El que los productos se ajusten a una determinada forma y tamaño es necesario fundamentalmente por dos motivos: para satisfacer las expectativas del consumidor y para que el producto quepa en su envase.

Por ejemplo, el que una galleta tenga 0,5 mm más de altura de lo consignado no es mayor problema, pero si un número considerable de las galletas que hayan de envasarse en un paquete de galletas tiene ese exceso, es muy posible que puedan no caber en la caja.

Las cámaras de visión 3D disponibles actualmente en el mercado presentan elevadas capacidades de procesamiento, en torno a 35.000 puntos de altura por segundo. Es decir, para una magdalena que tarde 0,1 segundos en atravesar el campo de visión, la cámara calcula la altura correspondiente a 3.500 puntos de la superficie de la magdalena.

La precisión de la medición de la altura depende de las dimensiones del campo de visión, que son función de la anchura de la cinta y la altura máxima del producto. Por ejemplo, para inspección de pan, la precisión en la medición de altura está en torno a 0,5 mm, mientras que para elementos más pequeños, como galletas, es un orden de magnitud mayor (0,05 mm).

El modo de vida actual requiere a menudo que los alimentos se comercialicen en pequeñas cantidades. Esto se traduce en la necesidad de subdividir el alimento, por ejemplo un queso entero, en trozos o porciones de un determinado peso. Como el peso (masa) y el volumen de los alimentos están ligados por la densidad, que para un determinado producto se puede considerar constante, se pueden conseguir porciones de un peso dado, conociendo el volumen de la pieza de alimento entera. En el caso de obtención de cuñas de queso, no es imprescindible una cámara de visión 3D, ya que el diámetro y altura del queso entero son bien conocidos (son los del molde). Por tanto, el cálculo del volumen es inmediato, y se puede simplemente utilizar una cámara de visión 2D. Sin embargo, en el caso de fileteado o troceado de productos de formas más irregulares –por ejemplo, un salmón– la visión 3D es muy útil.



Con una cámara de visión 3D se puede detectar si en una caja de bombones cada bombón está bien colocado en su alveolo correspondiente. Esto es importante porque a veces algún bombón alargado, durante el llenado de la caja, queda de pie en vez de tumbado, con lo que la caja podría no cerrar bien, o aplastarse el bombón al intentar forzar el cerrado.

Ante cualquier estudio previo de aplicación con visión 3D conviene preguntarse: ¿se podría resolver el problema con un sistema de visión 2D?

En el caso de los bombones, la respuesta es que con una cámara RGB (es decir, en color), no. Ello se debe a que las bandejas plásticas alveoladas son normalmente de color marrón o negro, y como la mayoría de los bombones también lo son, una cámara RGB de visión 2D ni siquiera sería capaz de "ver" los bombones, ya que no los podría diferenciar del fondo de la imagen (bandeja alveolada). Puede que con una cámara 2D sensible a longitudes de onda en el infrarrojo cercano (NIR) sí pudiera distinguirse el bombón de la bandeja plástica alveolada.

Otra aplicación donde se requieren mediciones de altura de elevada precisión es para detectar si la capa de rebozado en filetes de carne o pescado empanados, por ejemplo, "San Jacobos" congelados, está en su sitio o se ha "despegado".

Hoy en día, la mayoría de las industrias disponen de sistemas de inspección mediante videocámaras

Una de las aplicaciones más recientes de la visión 3D es el control de calidad posterior a una operación de cocinado completo. Combinando una imagen 3D con una imagen térmica 2D (Stewart, 2008), se pueden detectar piezas subcocinadas sobre una cinta transportadora, por ejemplo filetes de pollo. Sin

embargo, utilizando únicamente la imagen térmica no se puede saber si las zonas frías corresponden a espacios entre filetes o a un filete o parte de él subcocinado. En definitiva, añadiendo la información espacial 3D, se evitan falsas alarmas típicas de los sistemas 2D de imagen térmica,

y se consigue un sistema de control más robusto.

Por último, como tecnología de futuro que podría tener numerosas aplicaciones en la industria alimentaria, podemos mencionar la del "escáner 3D multiespectral" (Lathulière et ál., 2006), con la que se consigue disponer, para cada punto de la superficie 3D de un objeto, de un conjunto de valores de reflectancia a distintas longitudes de onda.

\* (Referencia bibliográfica de autores)

La bibliografía completa de este artículo puede ser solicitada en [alimentacion@rbi.es](mailto:alimentacion@rbi.es)

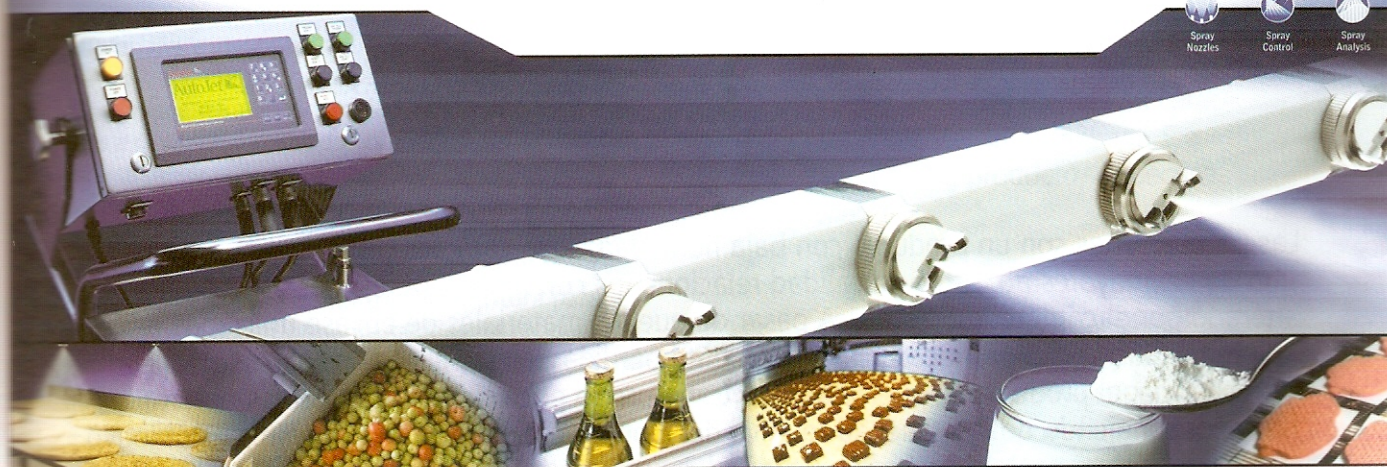
Ref. 207 en el BSL



**Spraying Systems Spain, S.L.**

Experts in spray technology

**Líderes en tecnología de pulverización para la industria alimentaria**



**Recubrimientos - Desmoldeantes - Aplicación de Aromas y Conservantes - Lavado - Secado - Spray Dry**  
**Spraying Systems Spain, S.L.**

c/ Agustín Lara, 1 bis - 28023 Madrid - Tel.: 91 357 40 20 - Fax: 91 357 43 03 - [info@spray.es](mailto:info@spray.es) - [www.spray.es](http://www.spray.es)